



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Brandteknisk dimensionering af limtrækonstruktioner

Olesen, Frits Bolonius

Publication date:
1992

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Olesen, F. B. (1992). *Brandteknisk dimensionering af limtrækonstruktioner*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter. R/ Nr. R9222

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

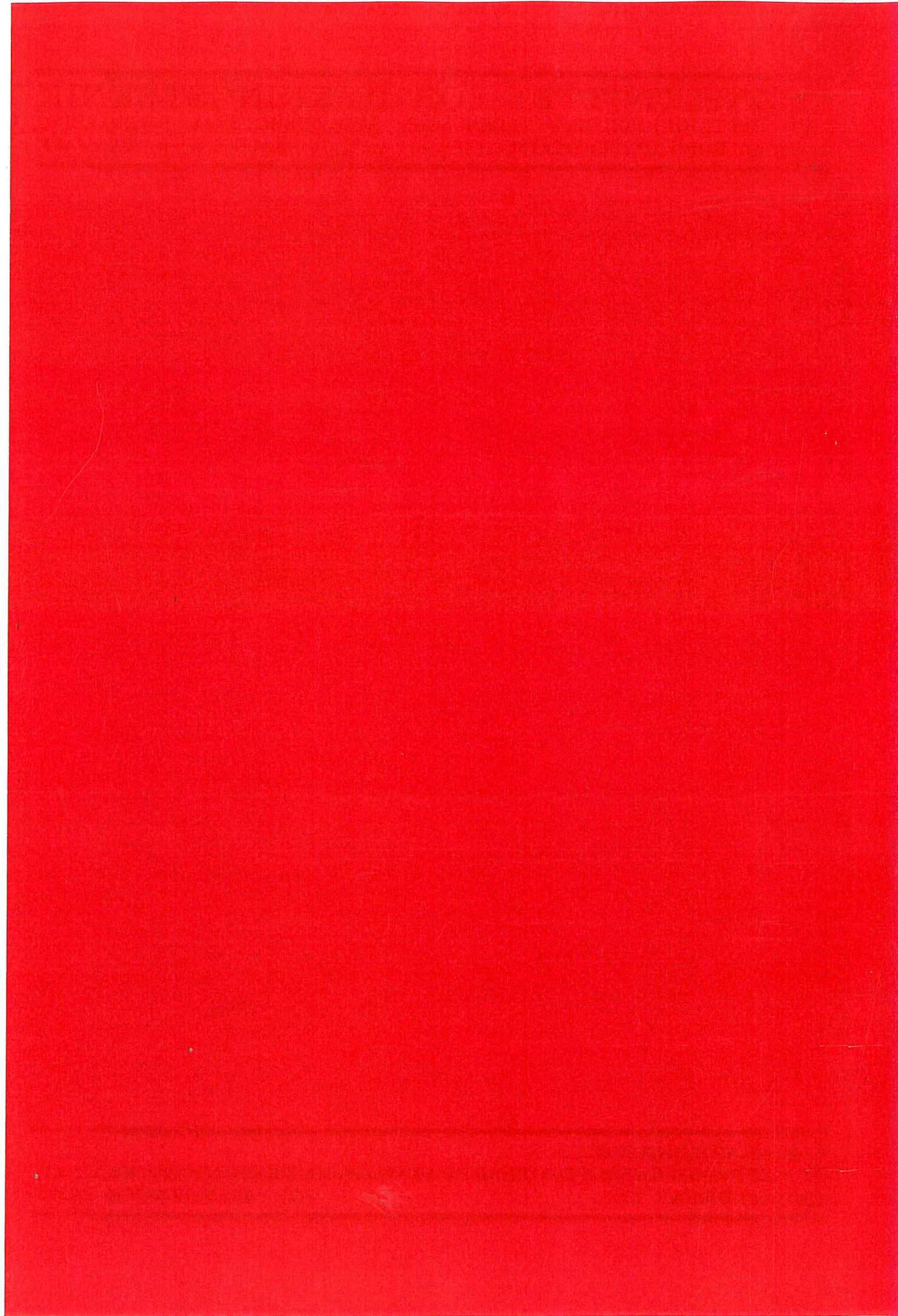
DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

F. BOLONIUS OLESEN

BRANDTEKNISK DIMENSIONERING AF LIMTRÆKONSTRUKTIONER

FEBRUAR 1992

ISSN 0902-7513 R9222



INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK
DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

F. BOLONIUS OLESEN
BRANDTEKNISK DIMENSIONERING AF LIMTRÆKONSTRUKTIONER
FEBRUAR 1992 **ISSN 0902-7513 R9222**

FORORD

Nærværende publikation er en resultatrapport, hvori redegøres for de foreløbige resultater af en række experimentelle undersøgelser af indbrændings-, bæreevne- og deformationsforholdene for belastede limtræbjælker under parametrisk brandpåvirkning.

De gennemførte fuldskalaforsøg er første led i en bredere anlagt teoretisk og experimentel undersøgelse af limtrækonstruktioners respons på brandpåvirkning, og når forsøgsresultaterne publiceres separat i den foreliggende form, uden samtidig redegørelse for den analytiske behandling af problemet, skyldes det, at der fra flere sider er udtrykt interesse for at få kendskab til de foreløbige forsøgsresultater og forsøgsmetoderne, specielt i forbindelse med det prænormative arbejde i tilknytning til det igangværende Eurocode-arbejde.

Aalborg, februar 1992

F. Bolonius Olesen

BRANDTEKNISK DIMENSIONERING AF LIMTRÆKONSTRUKTIONER

Af Frits Bolonius Olesen, Aalborg Universitetscenter, Danmark

I det følgende skal kort redegøres for en række teoretiske og eksperimentelle undersøgelser, som i 1987 og 1988 er gennemført ved universitetets Institut for Bygningsteknik med det formål at få opstillet og afprøvet praktisk brugbare metoder til en nuanceret brandteknisk dimensionering af limtrækonstruktioner.

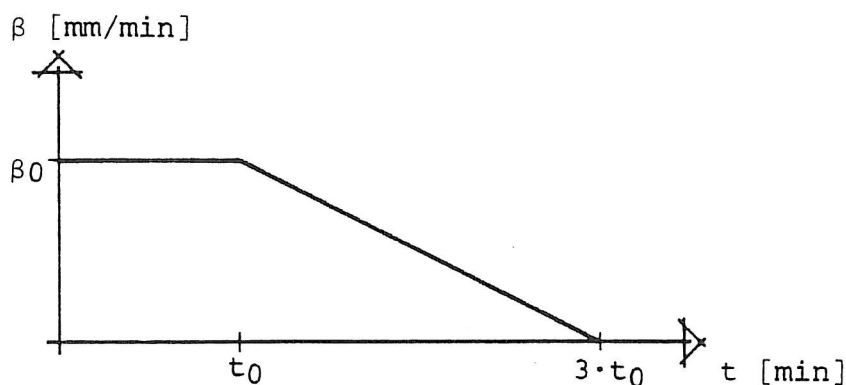
I instituttets brandlaboratorium er gennemført en række fuldskalaforsøg til verifikation af, hvor godt belastede limtræbjælkens respons på brandpåvirkning stemmer overens med de senest opstillede modeller for henholdsvis indbrænding i træ og hensyntagen til træets reducerede stivheds- og styrkeegenskaber ved høje temperaturer.

Undersøgelsernes baggrund

Brandteknisk dimensionering af bærende trækonstruktioner har hidtil oftest været baseret på stærkt forenklede antagelser med hensyn til indbrændingshastigheden, der sædvanligvis regnes konstant, ca. 35 mm/h, altså uafhængig af brandforløbet og konstruktionselementets konfiguration. I Svensk Bygg Norm 1975 foreskrives dog, at for brandrum med åbningsfaktor $> 0,04 \text{ m}^{\frac{1}{2}}$ tages hensyn til den forøgede forbrændingshastighed, og tilsvarende angiver den danske Norm for Trækonstruktioner DS 413 (4. udg. 1982) forenklede udtryk for, hvordan tværsnitsreduktionens afhængighed af brandrummets åbningsfaktor og brandbelastning kan beregnes.

Baggrunden for disse udtryk er den af HADVIG {1} foretagne analyse af indbrændingshastigheden ved 1-dimensional påvirkning og de herpå baserede udtryk til bestemmelse af indbrændingsdybdens tidsvariation i afhængighed af den termiske påvirkning.

I en lettere forenklet formulering af disse udtryk for indbrændingsdybden kan indbrændingshastigheden β 's tidsvariation udtrykkes således:



$$\beta_0 = \frac{5 \cdot F - 0,04}{4 \cdot F + 0,08} \quad [\text{mm/min}] \quad [0,02 < F < 0,30 \text{ m}^{\frac{1}{2}}]$$

$$t_0 = 0,006 \cdot \frac{q_e}{F} \quad [\text{min}] \quad [0 < t_0 \leq \begin{cases} 40 & \text{min} \\ b/(8 \cdot \beta_0) & \text{min} \end{cases}]$$

hvor

F	$= A \cdot \sqrt{h}/A_t$	$[m^{\frac{1}{2}}]$
A	$=$ Summen af vertikale åbningers areal	$[m^2]$
A_t	$=$ Omsluttende fladers totale areal	$[m^2]$
h	$=$ Vægtet middelværdi af åbningshøjder	$[m]$
b	$=$ Mindste tværsnitsdimension	$[mm]$
q_t	$=$ Brandbelastning	$[MJ/m^2]$

Udtrykket er gyldigt for lodrette sider af limtræbjælker exponeret for brandpåvirkning af overvejende træbrændstof.

Træs styrke- og stivhedsegenskaber under de temperaturer, der forekommer i den ikke-forkullede del af konstruktionselementet under brandpåvirkning, er kun sparsomt beskrevet i litteraturen. I mangel af bedre grundlag baseres dimensioneringen derfor oftest på en antagelse om uændrede - eller næsten uændrede - styrke- og stivhedsegenskaber til trods for, at disses reduktion er evident. For at kompensere for denne fejl (på den usikre side), som herved begås, har CARLSEN {2} foreslået, at der ved dimensioneringen regnes med en "svækket zone", hvor styrken regnes at aftage lineært fra normale værdier i den usvækkede del af tværsnittet (fx defineret som de områder, hvor temperaturen ikke overskrider 50°C) til nul i forkullingslaget. Udtrykkene i DS 413 er baseret på sådanne forenkede antagelser om den svækkede zones udstrækning og betydning.

I de her omhandlede undersøgelser er beregningsmodellen baseret på en mere nuanceret hensyntagen til de mekaniske egenskabers temperaturafhængighed, jvf. bl.a. de af KALLIONIEMI {3} udførte undersøgelser heraf.

Eksperimentelle undersøgelser

Forsøgsrækken har foreløbig omfattet 18 fuldskala-brandforsøg, som er gennemført i laboratoriets brandkammer/bjælkeprøvemaskine, hvor prøvelegemerne ved de her omhandlede forsøg er exponeret 3-sidigt (indklædt på oversiden). Prøvningsudstyret er nærmere beskrevet i {4}. Prøvelegemerne er ca. 4 m lange i 3 serier med tværsnit $h \cdot b =$

300 × 140 mm (G 05 - G 11)

300 × 165 mm (G 21 - G 26)

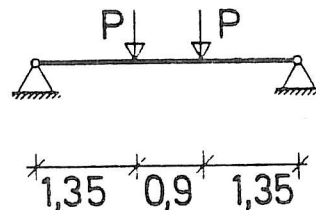
300 × 185 mm (G 31 - G 36)

Belastningen på prøvelegemerne (simpelt understøttede med en spændvidde på 3,60 m) er under forsøgene holdt konstant = 2 enkeltlaste P a' henholdsvis

5,0 kN (G 05 - G 11)

7,0 kN (G 21 - G 26)

8,0 kN (G 31 - G 36)



for de 3 serier. Den relativt beskedne lastpåvirkning er valgt for at forhindre stabilitetsbrud under forsøgene, idet prøvelegemerne ikke er sideværts fastholdt under denne del af forsøgene.

Den termiske påvirkning er styret efter et gastemperatur-tid-forløb beregnet efter en energibalancemetode (åbningsfaktormetoden) med følgende fiktive åbningsfaktorer og brandbelastninger:

åbningsfaktor F ($\text{m}^{\frac{1}{2}}$):	0,04	0,06	0,08		
brandbelastning q_t (MJ/m^2):	113	126	151	188	251

kombineret til ialt 6 forskellige brandforløb. Ved hvert forsøg er brandpåvirkningen afbrudt momentant ved vandpåsprøjtning på det tidspunkt, hvor brandkammerets temperatur under afkølingsfasen er ca. 300°C svarende til, at maximal indbrænding er nået samtidig med maksimalt svækket tværsnit.

Temperaturerne i prøvelegemerne er målt med indborede termoelementer og registreret løbende under forsøgene. Af forsøgstekniske grunde er disse målinger dog foretaget separat i specielle prøvelegemer (G 45-98, ialt 30 prøvelegemer) af samme geometri, fugtighed m.v. og udsat for helt samme termiske påvirkning som ved fuldskalaforsøgene.

Nedbøjningerne, u_{15} og u_{75} , i 4 punkter (hhv. 150 og 750 mm fra bjælkernes midtpunkt) er løbende registreret under forsøgene.

Brudlasten for hvert enkelt prøvelegeme er bestemt ved belastning til brud umiddelbart (max 1 minut) efter den termiske påvirknings ophør. Ved denne bestemmelse har prøvelegemerne været understøttet sideværts i oversiden for at undgå stabilitetsbrud.

Indbrændingsdybden er bestemt ved manuel opmåling af prøvelegemerne i ca. 20 målepunkter på undersiden af de lodrette sider forud for prøvningen og efter afbørstning efter forsøgene.

Forsøgsresultater

På omstående bilag 1 er givet en oversigt over forsøgsresultaterne. Da der ikke er foretaget måling af konstruktionsmaterialets bøjningsstyrke, indeholder oversigten ingen angivelser heraf (men det kan skønsmæssigt antages, at det anvendte limtræ - L30 - har en bøjningsstyrke på ca. 40 MPa). Derimod er konstruktionsmaterialets stivhedsparametre undersøgt forud for brandforsøgene.

Oversigten omfatter følgende data for hvert enkelt prøvelegeme:

- * Geometrisk tværsnit forud for prøvning
- * Geometrisk tværsnit efter prøvning
- * Middelindbrændingsdybde x_s på de lodrette sider
- * Middelindbrændingsdybde x_b på undersiden
- * E-modul før brandprøvning
- * G-modul før brandprøvning
- * Termisk brandlast (brandbelastning og åbningsfaktor)
- * Mekanisk last
- * Brudlast

På bilagene 5-20 er vist nedbøjningsforløbet u_{15} og u_{75} for 16 fuldskala-forsøg, og på bilagene 21-23 er vist eksempler på udskrifter af temperaturmålinger ved de supplerende forsøg G 45-98.

På bilagene 2-4 er indtegnet de målte værdier af middelindbrændingsdybderne på de lodrette bjælkesider med de tilsvarende beregnede værdier.

Konklusioner

Af forsøgsresultaterne kan drages følgende foreløbige konklusion:

- * Der er for samtlige prøvninger konstateret god overensstemmelse mellem målte og beregnede værdier af middelindbrændingsdybderne på bjælkernes lodrette sider (jvf. bilag 2-4).
- * Indbrændingsdybderne på undersiden er i de fleste (men ikke alle) tilfælde større (gennemsnitligt ca. 15%) end på de lodrette sider.
- * De målte nedbøjninger er i samtlige tilfælde væsentlig større end de værdier, der kan beregnes på grundlag af hidtidige teorier eller beregningsregler (herunder DS og SBN), der ser bort fra krybningsfænomener.
- * De målte brudlaste er i samtlige tilfælde lavere end værdier, der beregnes efter hidtidige beregningsregler (herunder DS og SBN).

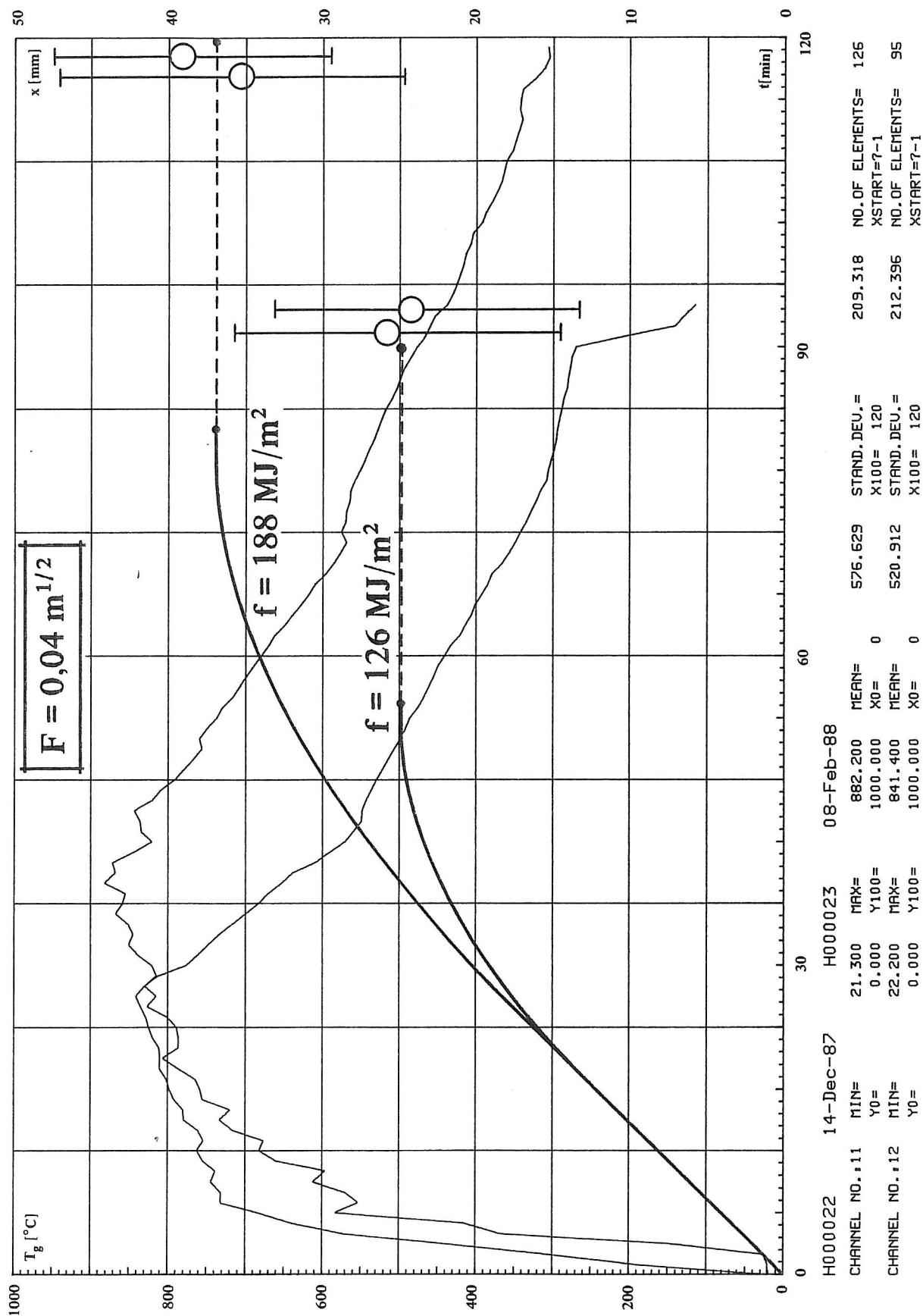
Litteratur

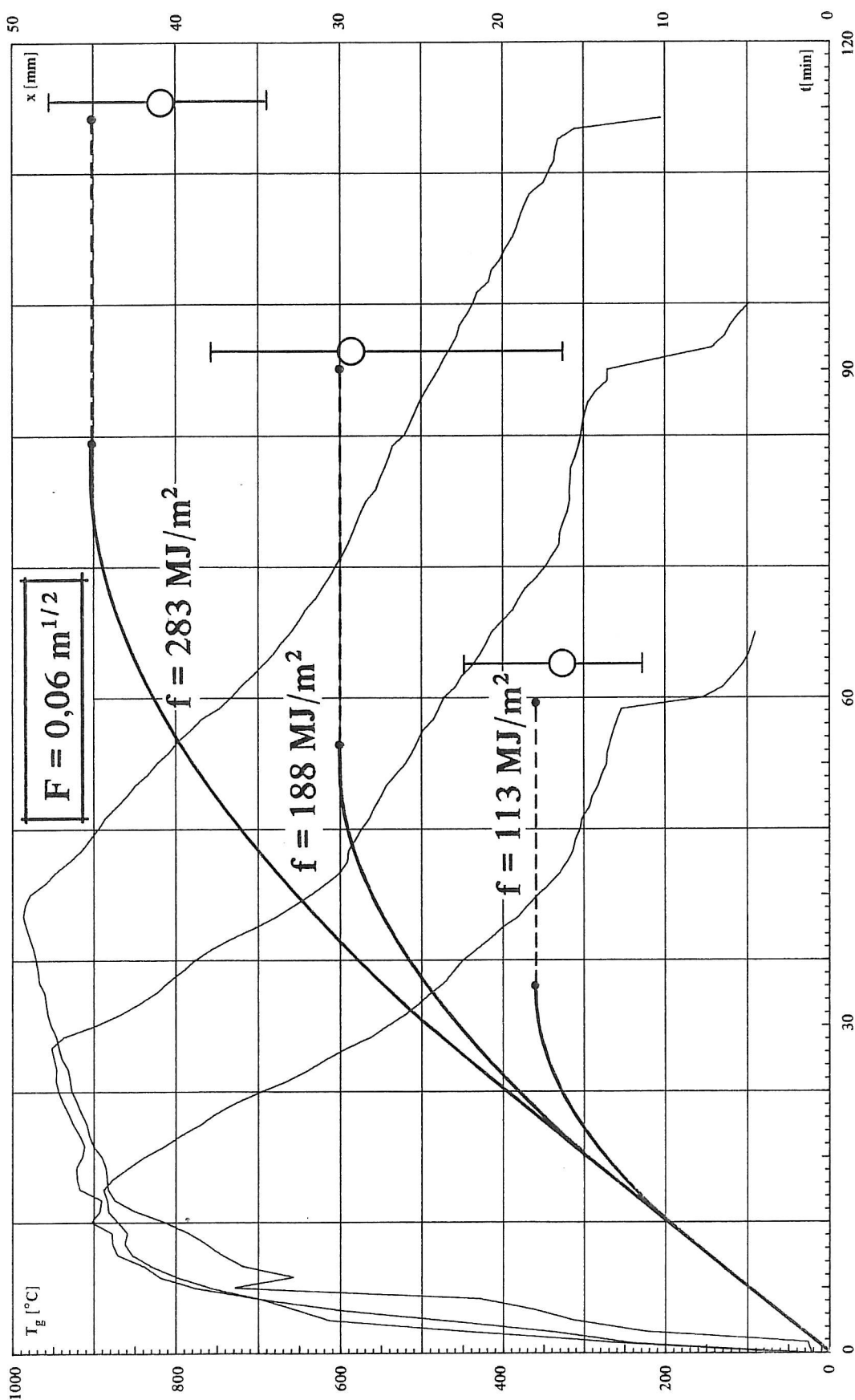
- {1} Hadvig, S.: Charring of Wood in Building Fires. Technical University of Denmark. Lyngby 1981.
- {2} Carlsen, B.-E.: Brandteknisk dimensionering af bærende trækonstruktioner. Nordisk Trätidsskrift, hæfte 6, Aalborg 1979.
- {3} Kallioniemi, P.: The strength of Wood Structures during Fires. VTT Symposium 9. Espoo 1980.
- {4} Hviid, N.J. & F.B. Olesen: AUC's brandlaboratorium. Instituttet for Bygningsteknik. Rapport nr. 7708. Aalborg 1977.

OVERSICHT OVER FORSØGSRESULTATER

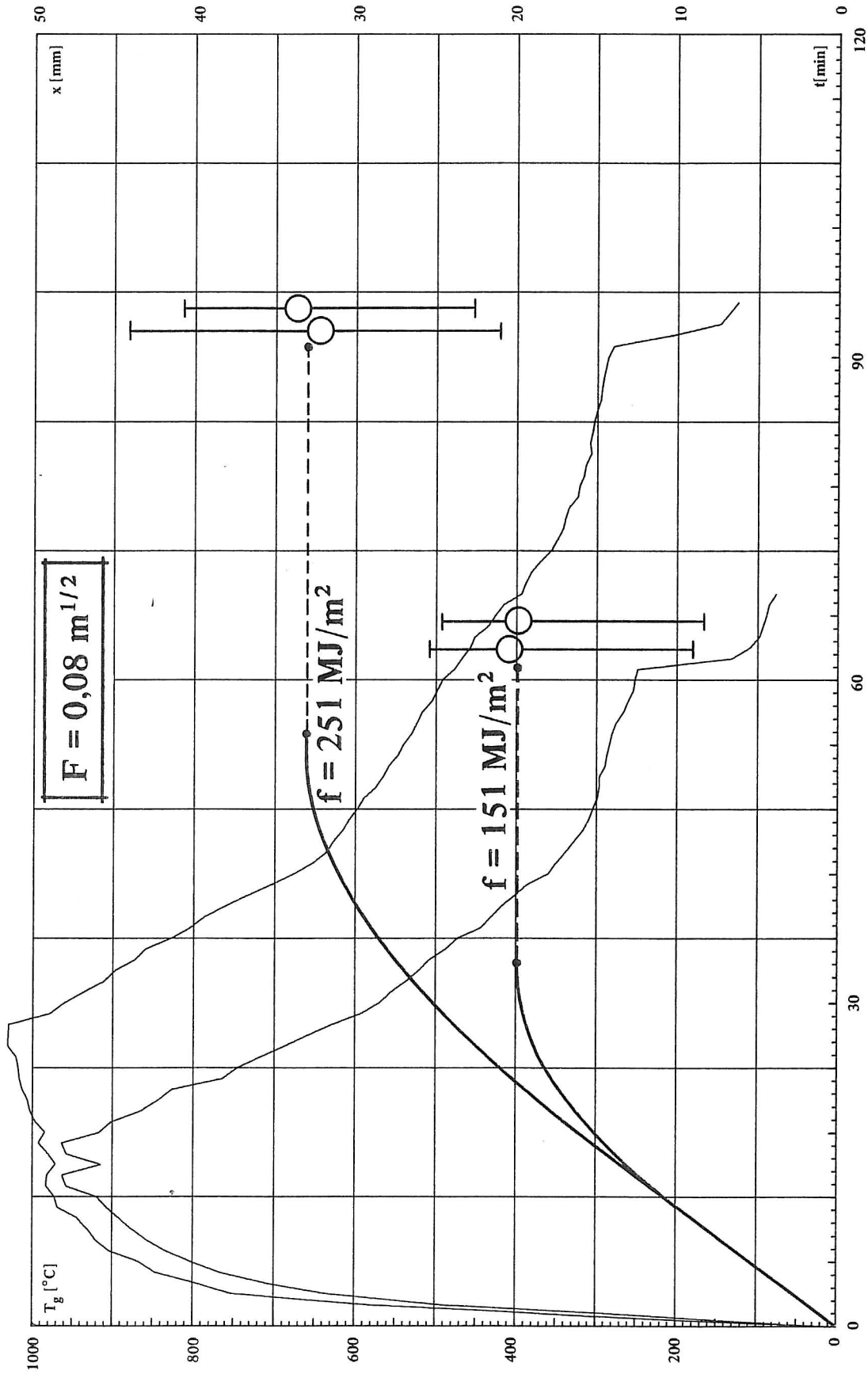
Nr.	$h_o \cdot b_o$ mm·mm	E_o MPa	G_o MPa	$x_s^{\text{målt}}$ mm	$x_s^{\text{ber.}}$ mm	$x_b^{\text{målt}}$ mm	$h_f \cdot b_f$ mm·mm	F $\frac{1}{m^2}$	q_t MJ/m ²	P kN	$P_{\text{brud}}^{\text{målt}}$ kN	s_{brud}^f MPa	$3 \cdot t_o$ min.
G 05	(300·140)	-	-	-	30,7	-	-	0,06	188	5,0	8,3	-	56
G 06	(300·140)	-	-	35,4	37,6	-	-	0,04	188	5,0	-	-	85
G 07	298·137	14.250	550	24,1	25,2	32,2	266·89	0,04	126	5,0	12,6	16,2	57
G 08	296·136	14.800	760	16,4	18,4	17,7	278·103	0,06	113	5,0	22,0	22,4	34
G 09	296·136	16.200	645	20,3	20,4	22,8	273·95	0,08	151	5,0	20,6	23,6	34
G 11	296·136	12.600	650	-	33,9	-	-	0,08	251	5,0	9,6	-	56
G 21	299·159	13.450	778	-	30,7	-	-	0,06	188	7,0	18,1	-	56
G 22	(300·160)	-	-	-	37,6	-	-	0,04	188	7,0	-	-	85
G 23	298·158	12.600	650	26,0	25,2	28,3	270·106	0,04	126	7,0	16,7	17,5	57
G 24	299·157	14.820	724	-	18,4	-	-	0,06	113	7,0	31,5	-	34
G 25	298·158	14.150	678	32,0	33,9	36,9	271·94	0,08	251	7,0	13,2	15,5	56
G 26	299·158	13.380	683	20,0	20,4	22,3	276·118	0,08	151	7,0	30,1	27,1	34
G 31	(300·185)	-	-	-	30,7	-	-	0,06	188	8,0	16,3	-	56
G 32	299·184	14.000	510	38,9	37,6	40,4	259·106	0,04	188	8,0	11,6	13,2	85
G 33	298·183	11.700	600	29,4	30,7	26,4	272·124	0,06	188	8,0	19,6	17,3	56
G 34	297·183	13.800	610	34,1	33,9	30,6	266·115	0,08	251	8,0	19,8	19,7	56
G 35	(300·185)	-	-	-	20,4	-	-	0,08	151	8,0	36,2	-	34
G 36	(300·185)	-	-	40,5	46,0	49,3	-	0,06	283	8,0	10,5	-	85

* NB: s_{brud}^f er beregnet som en "formel" brudspænding = $M_{\text{brud}}/W_f = 1,35 \cdot P_{\text{br}}/W_f$

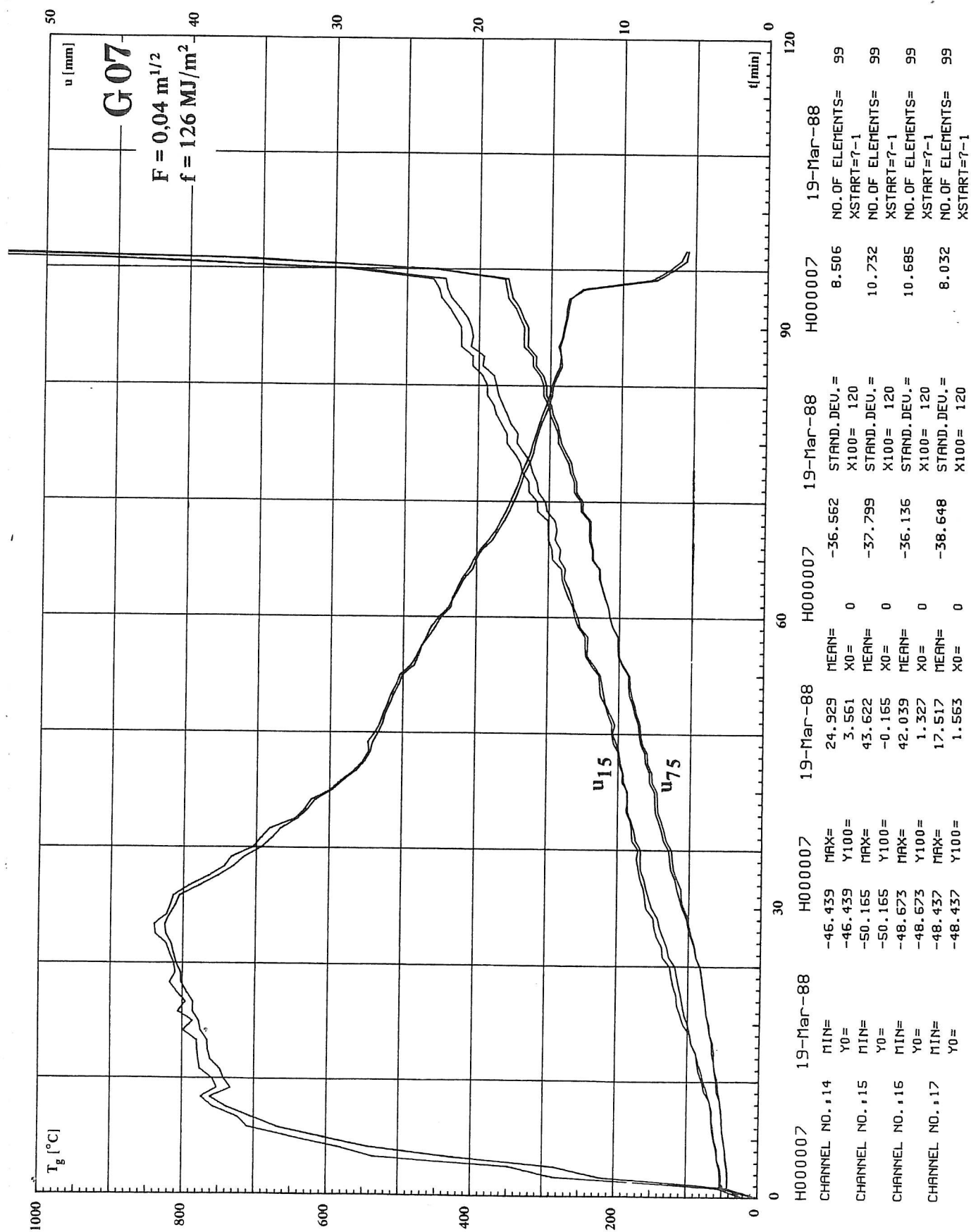


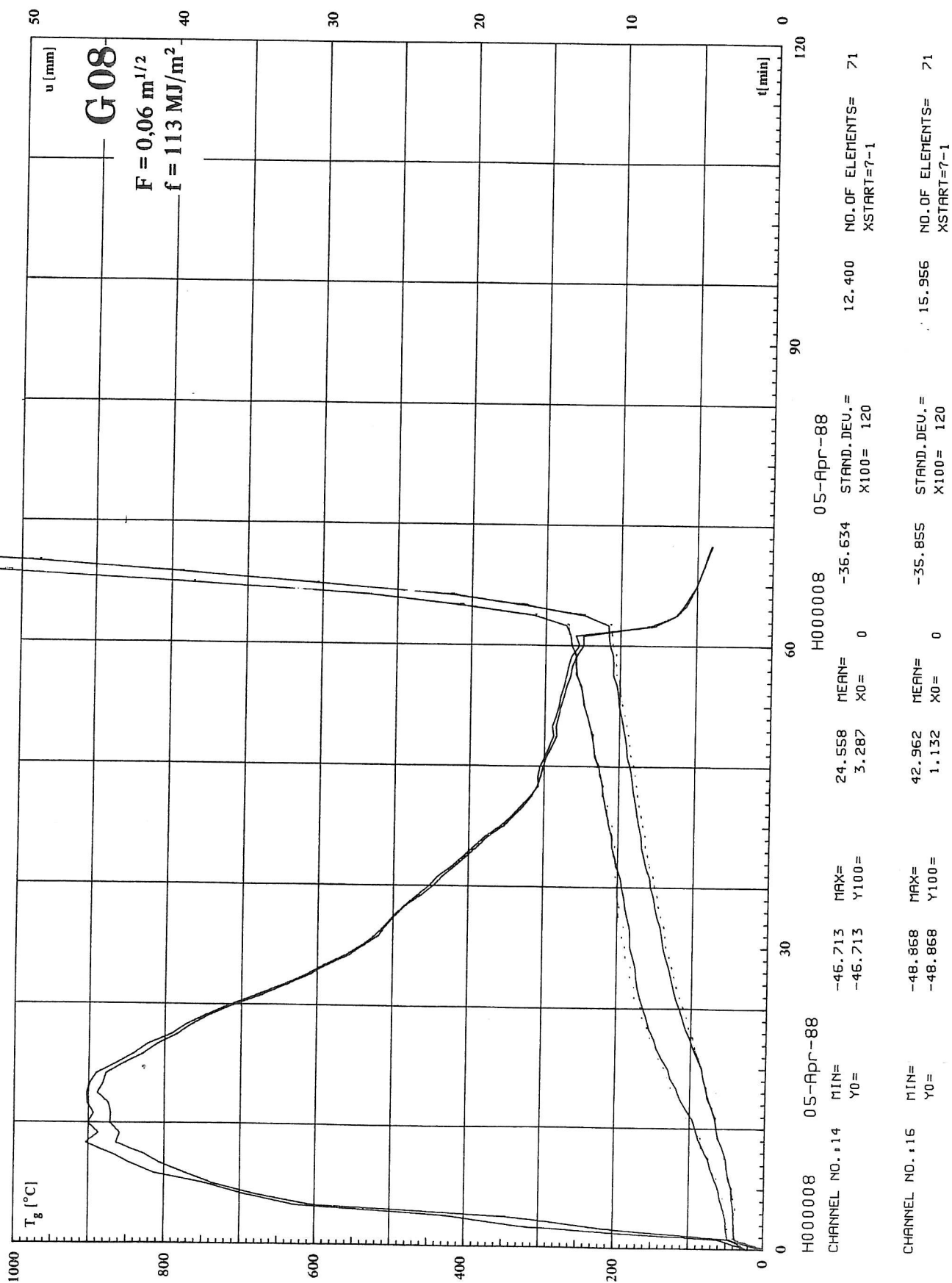


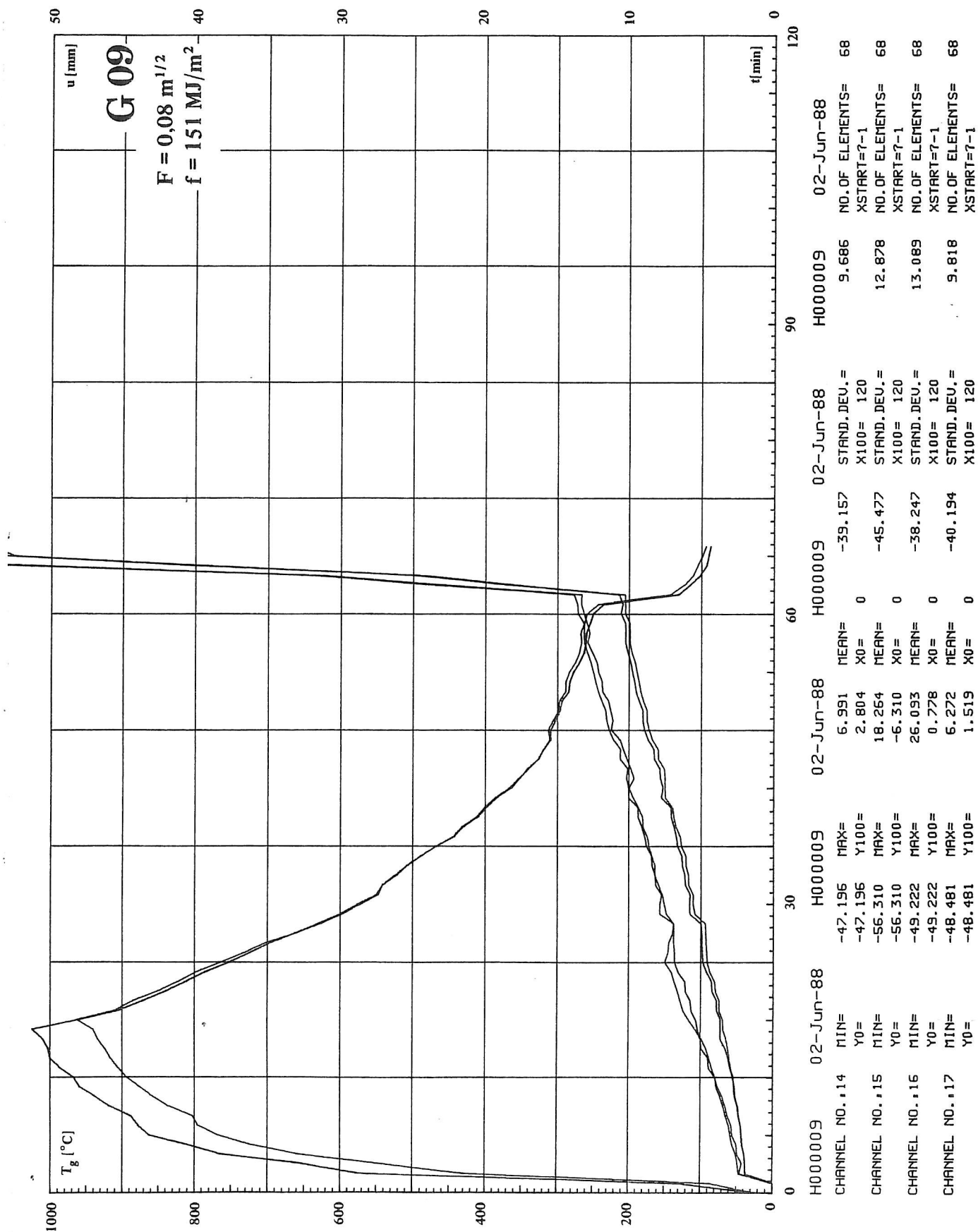
H000024	11-Apr-88	H000033	07-Jan-88	H000036	21-Jun-88	256.296	NO. OF ELEMENTS= 67
CHANNEL NO. 12	MIN=	21.100	MAX=	888.200	486.246	STAND. DEV. =	XSTART=7-1
	Y0=	0.000	Y100=	1000.000	1000.000	X100= 120	
CHANNEL NO. 13	MIN=	41.700	MAX=	952.400	570.812	STAND. DEV. =	NO. OF ELEMENTS= 97
	Y0=	0.000	Y100=	1000.000	1000.000	X100= 120	XSTART=7-1
CHANNEL NO. 10	MIN=	22.100	MAX=	986.500	670.518	STAND. DEV. =	NO. OF ELEMENTS= 114
	Y0=	0.000	Y100=	1000.000	1000.000	X100= 120	XSTART=7-1

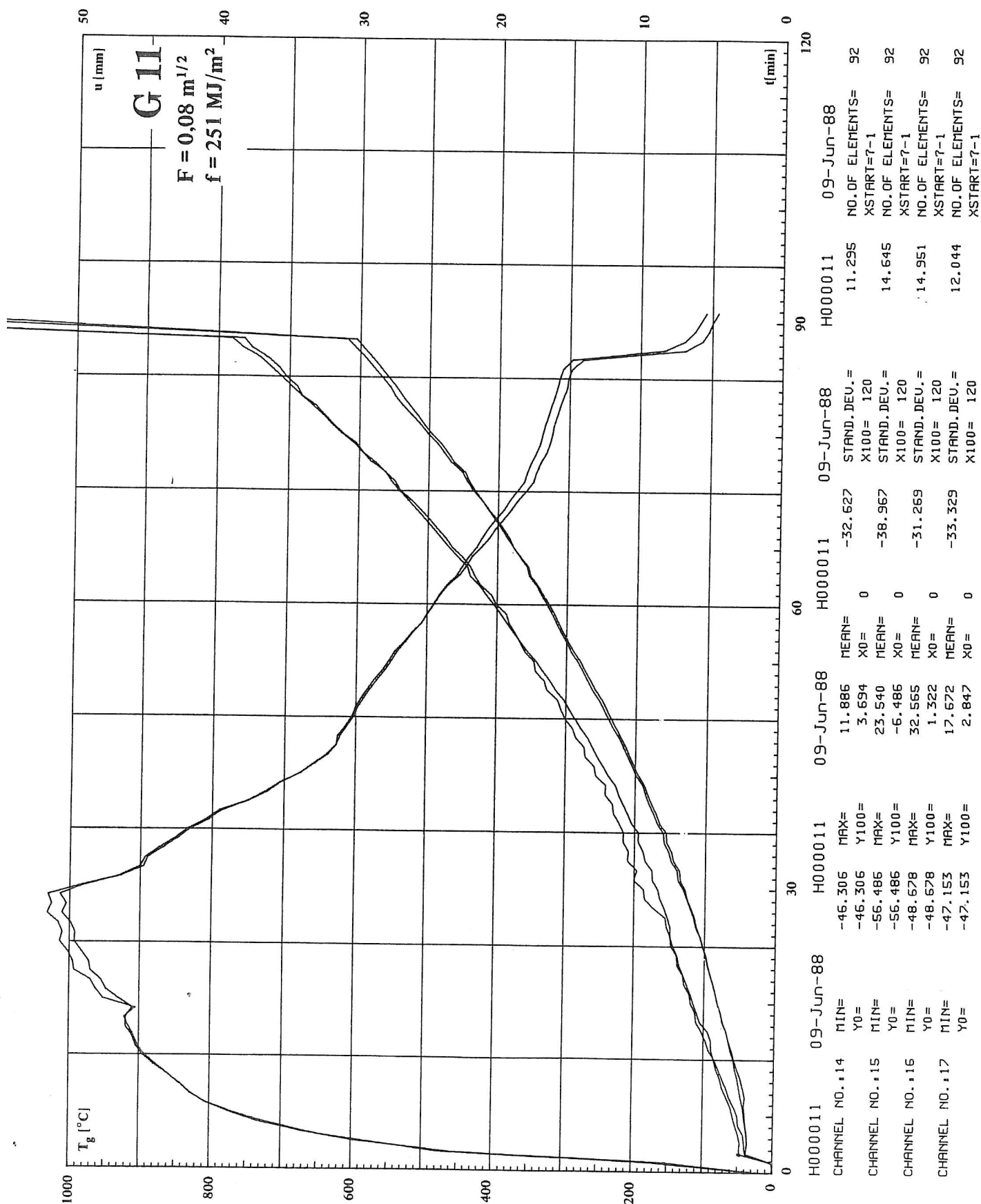


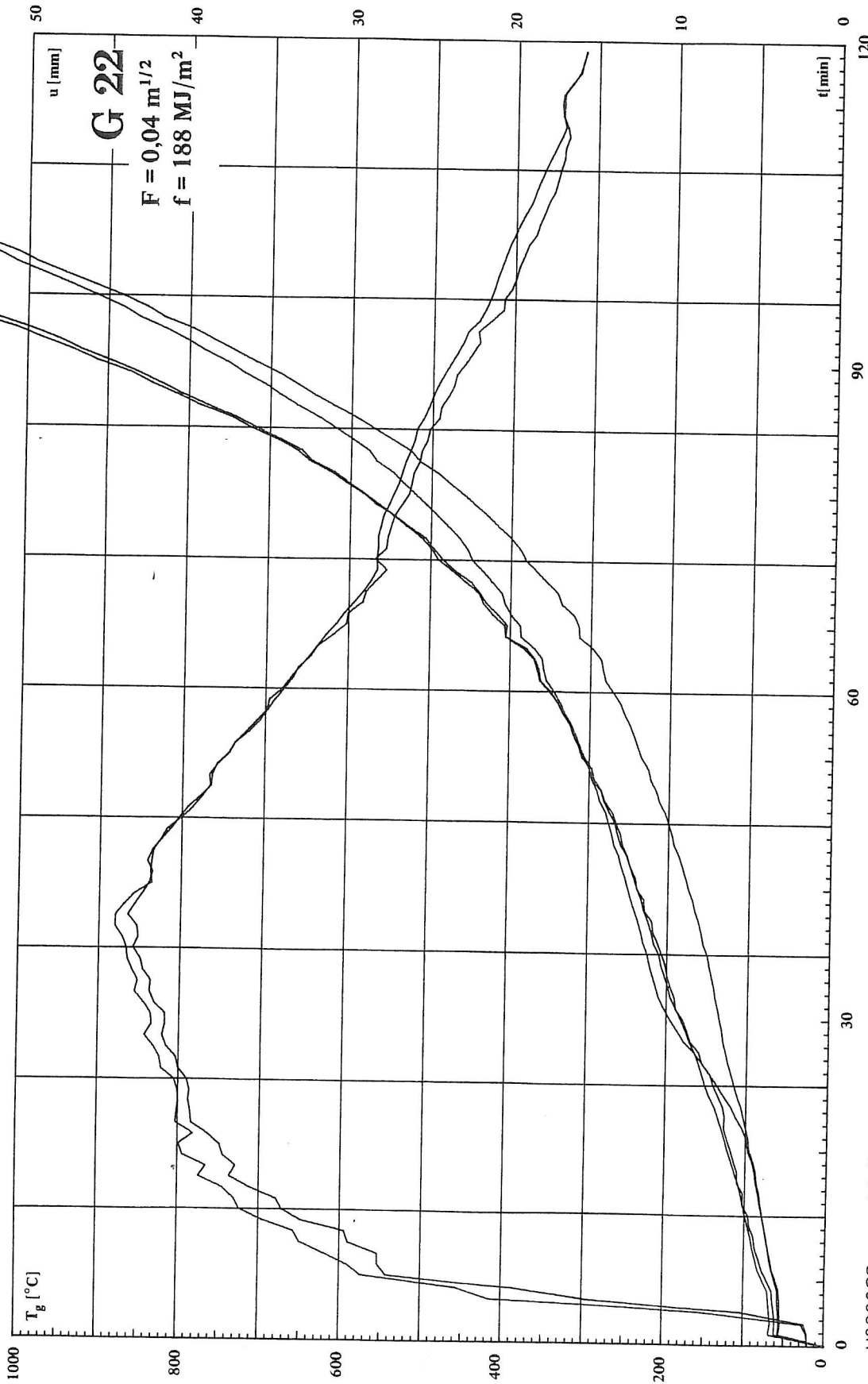
H000025	04-May-88	H000026	05-May-88	617.974	STAND.DEV.=	283.985	NO. OF ELEMENTS=	96
CHANNEL NO. 12	MIN=	1031.700	MEAN=	0	X100=	120	XSTART=7-1	
	Y0=	0.000	X0=	0				
CHANNEL NO. 11	MIN=	963.900	MEAN=	0	STAND.DEV.=	282.066	NO. OF ELEMENTS=	69
	Y0=	20.400	X0=	0	X100=	120	XSTART=7-1	



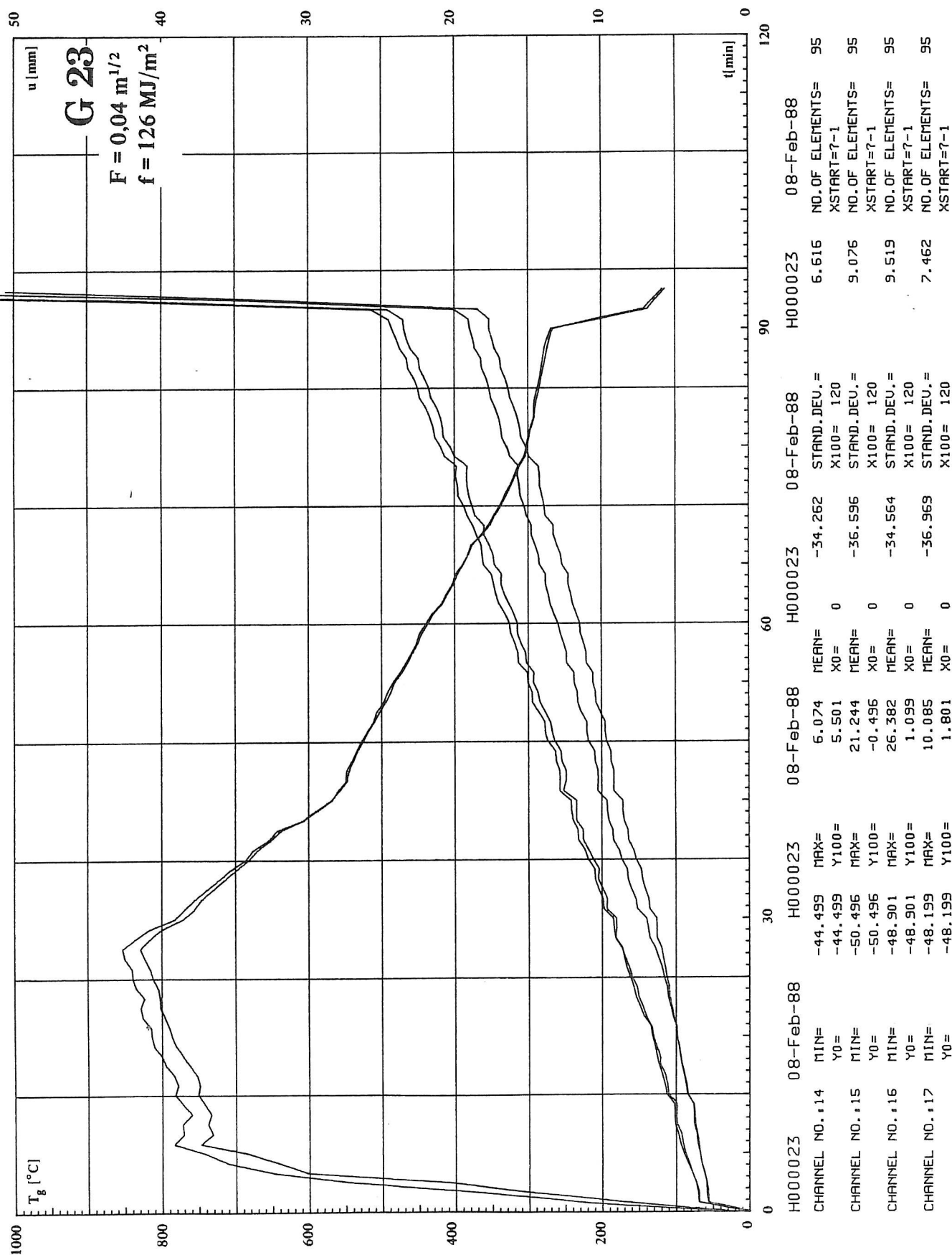


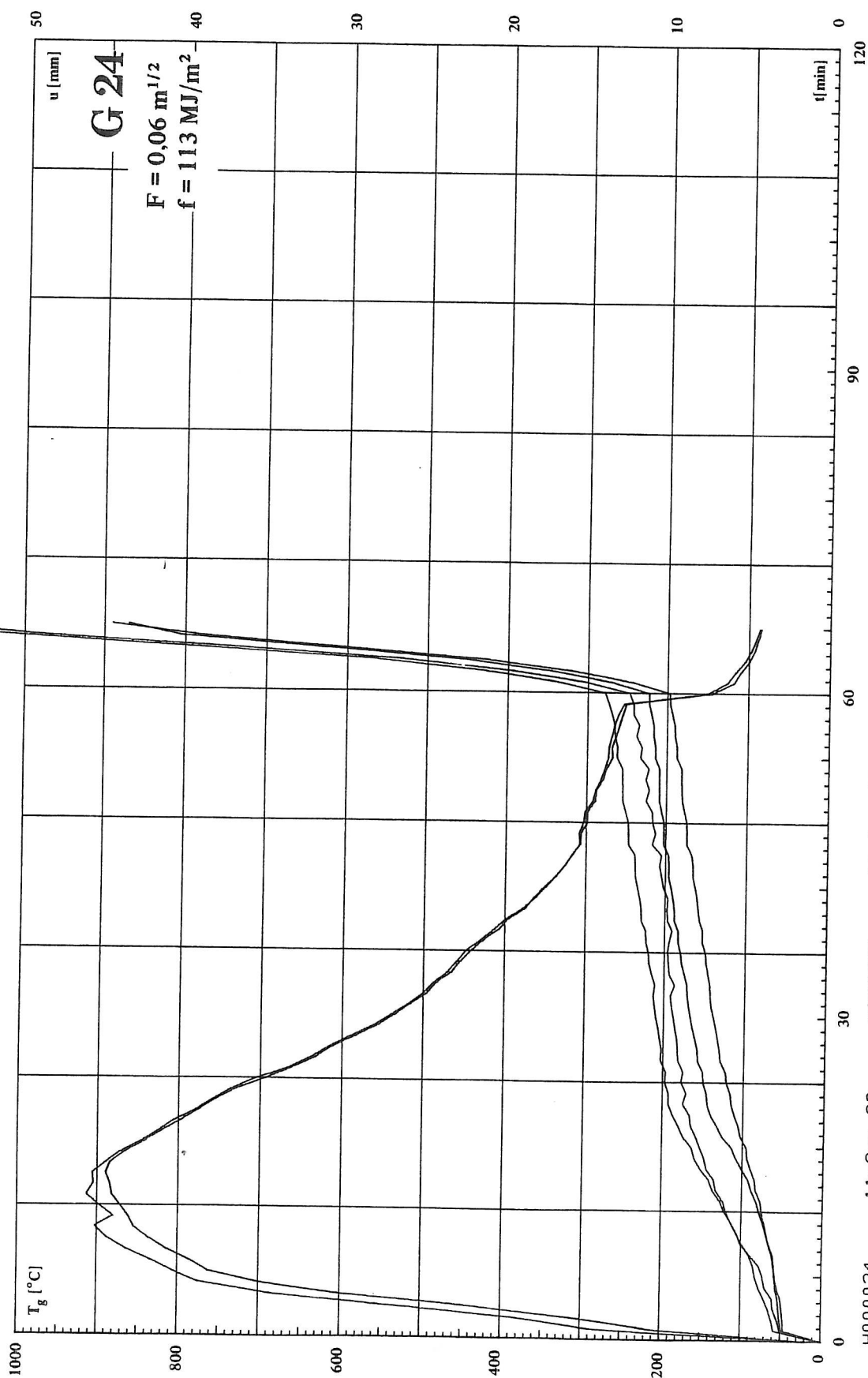




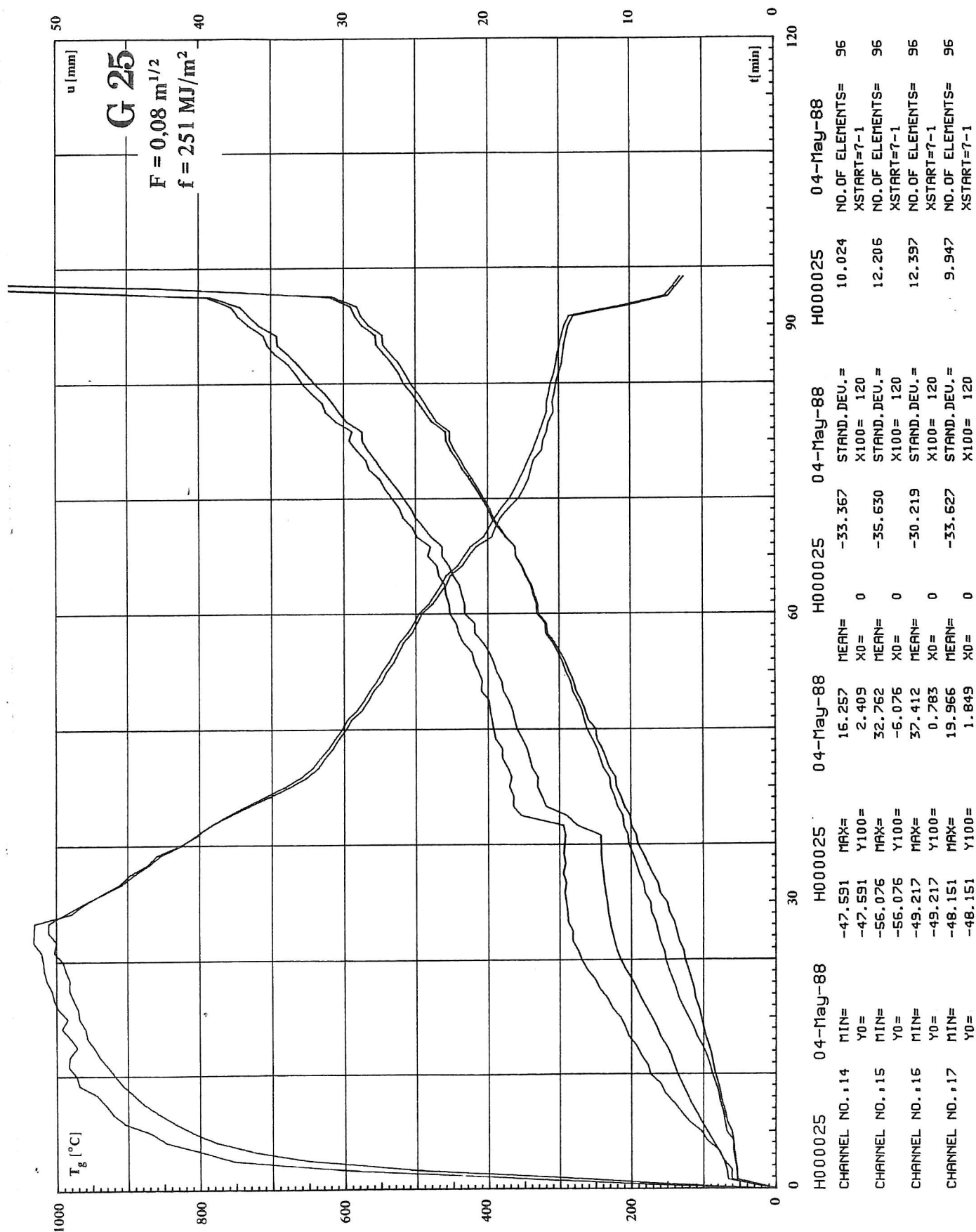


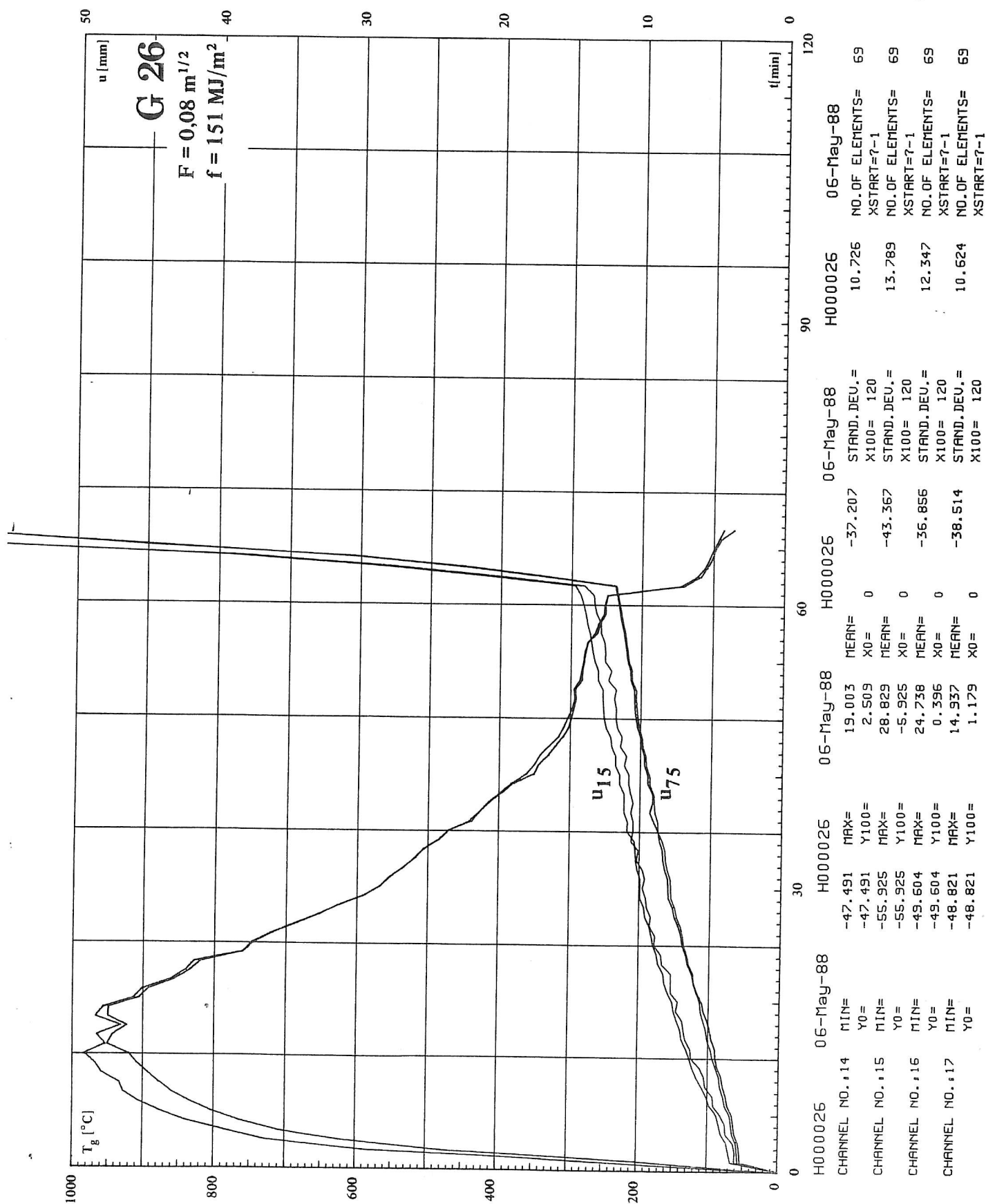
H000022	14-Dec-87	H000022	14-Dec-87	H000022	14-Dec-87	H000022	14-Dec-87	H000022	14-Dec-87
CHANNEL NO..114	MIN=	-47.105	MAX=	66.483	MEAN=	-16.923	STAND. DEU.=	34.072	NO.OF ELEMENTS=
	Y0=	-47.105	Y100=	2.895	X0=	0	X100=	XSTART=7-1	126
CHANNEL NO..115	MIN=	-54.323	MAX=	43.284	MEAN=	-21.094	STAND. DEU.=	31.338	NO.OF ELEMENTS=
	Y0=	-54.323	Y100=	-4.323	X0=	0	X100=	XSTART=7-1	126
CHANNEL NO..116	MIN=	-49.471	MAX=	64.145	MEAN=	-14.213	STAND. DEU.=	35.618	NO.OF ELEMENTS=
	Y0=	-49.471	Y100=	0.529	X0=	0	X100=	XSTART=7-1	126
CHANNEL NO..117	MIN=	-48.474	MAX=	63.869	MEAN=	-16.572	STAND. DEU.=	32.944	NO.OF ELEMENTS=
	Y0=	-48.474	Y100=	1.526	X0=	0	X100=	XSTART=7-1	126





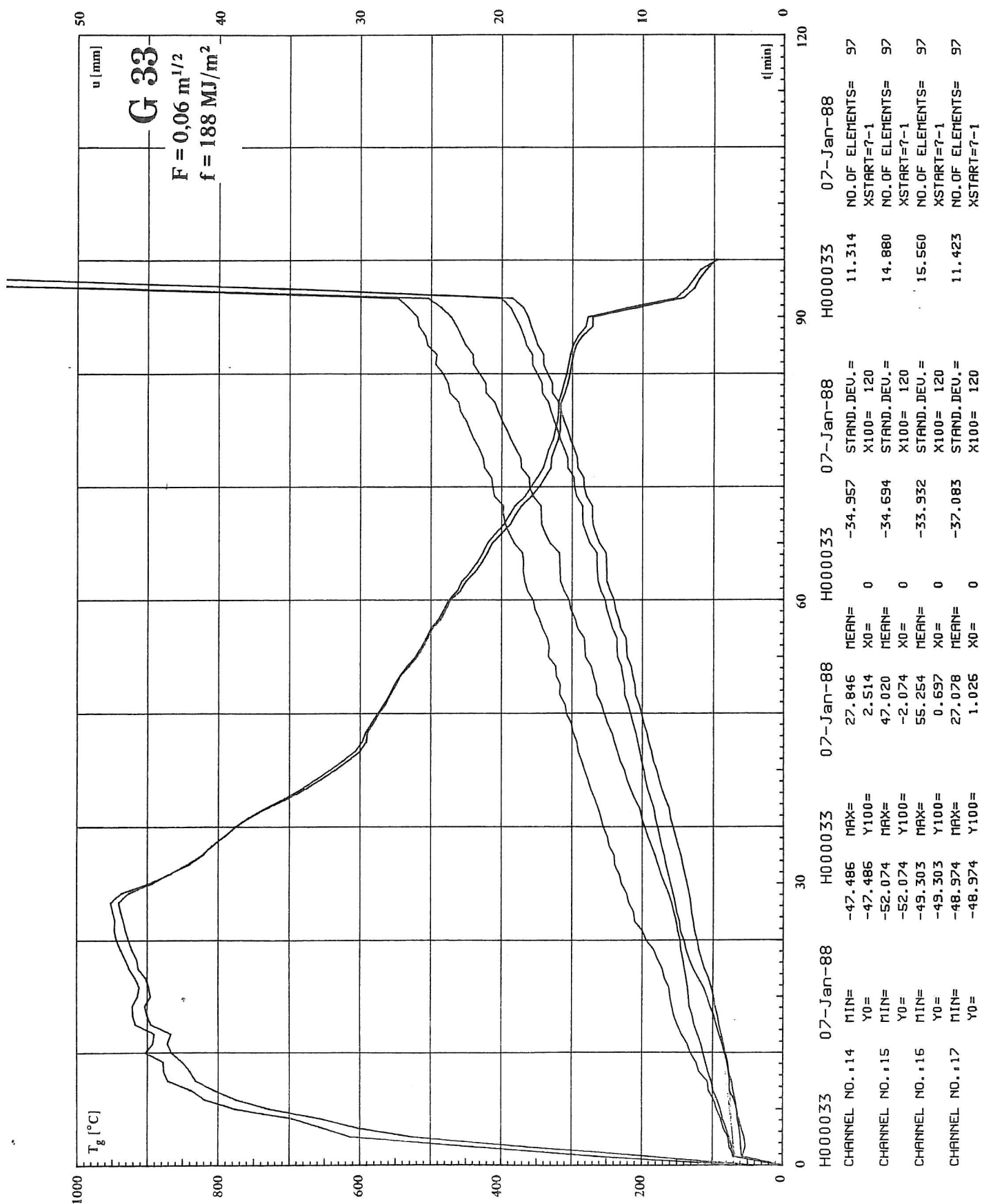
H000024	11-Apr-88	H000024	11-Apr-88	H000024	11-Apr-88	H000024	11-Apr-88
CHANNEL NO. 14	MIN=	MAX=	-2.269	MEAN=	-38.536	7.338	NO. OF ELEMENTS=
	Y0=	Y100=	3.197	X0= 0			XSTART=7-1
CHANNEL NO. 15	MIN=	MAX=	2.637	MEAN=	-43.755	9.166	NO. OF ELEMENTS=
	Y0=	Y100=	-4.550	X0= 0			XSTART=7-1
CHANNEL NO. 16	MIN=	MAX=	8.938	MEAN=	-37.470	9.505	NO. OF ELEMENTS=
	Y0=	Y100=	0.645	X0= 0			XSTART=7-1
CHANNEL NO. 17	MIN=	MAX=	-4.510	MEAN=	-38.777	7.423	NO. OF ELEMENTS=
	Y0=	Y100=	1.917	X0= 0			XSTART=7-1

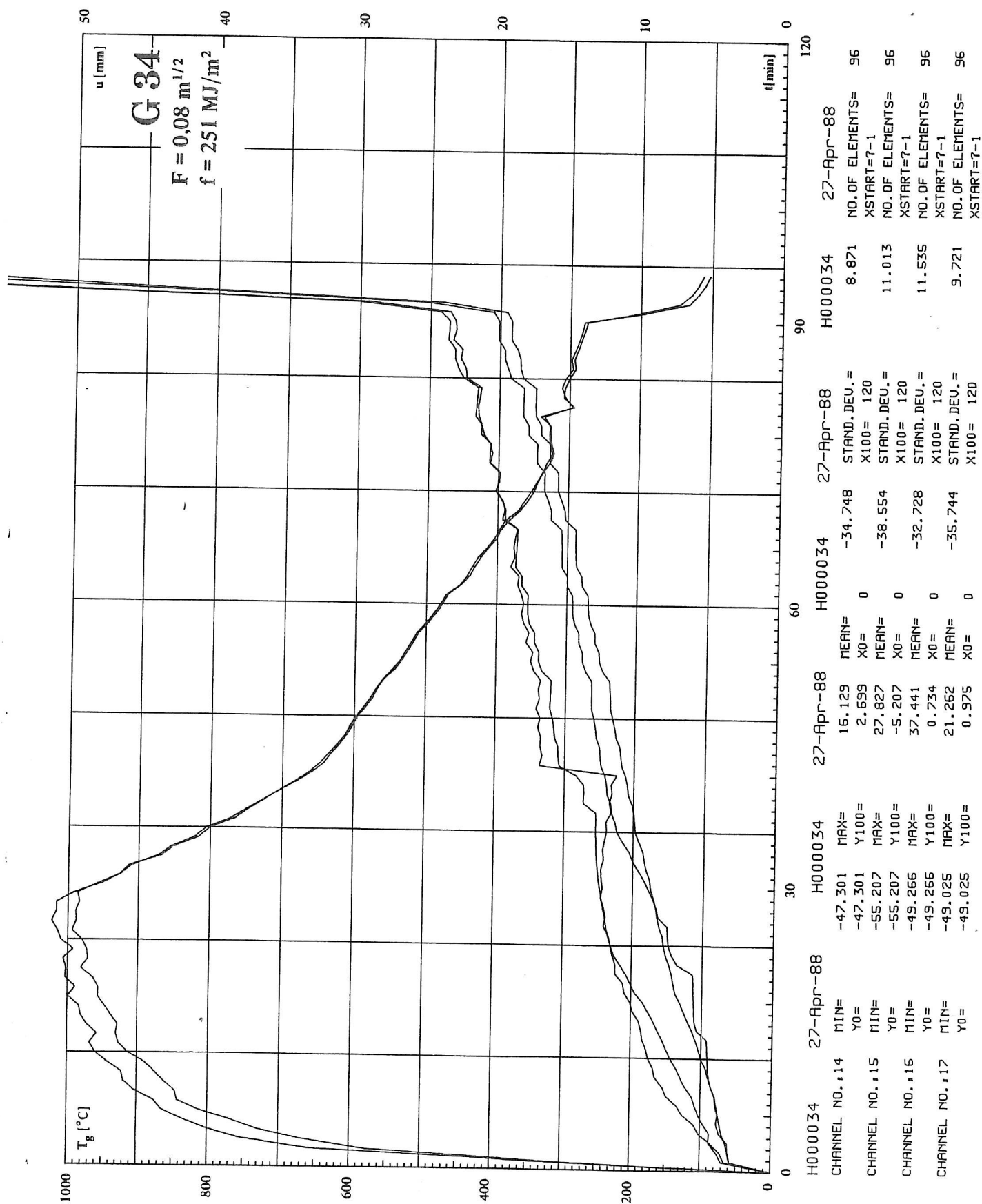


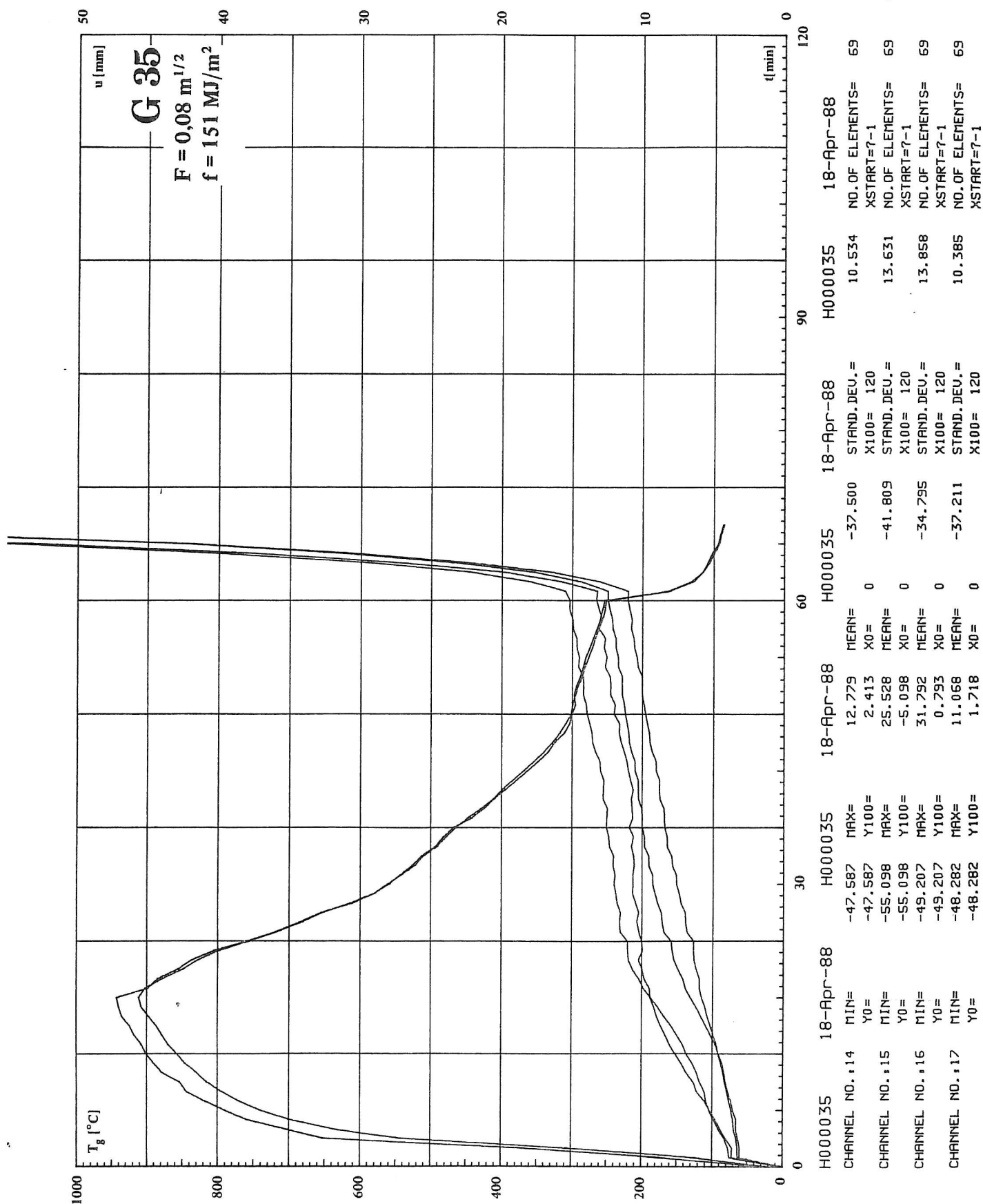


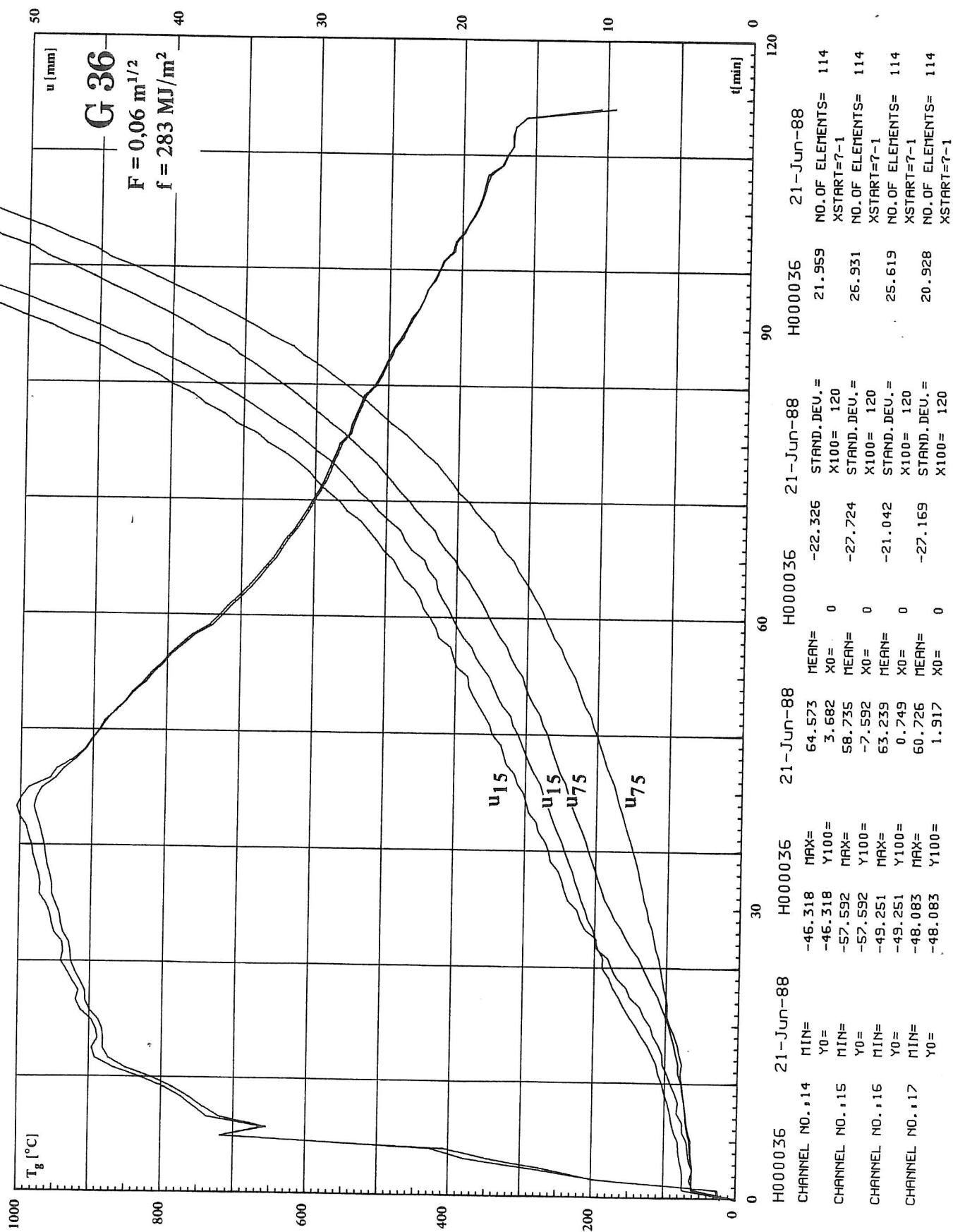


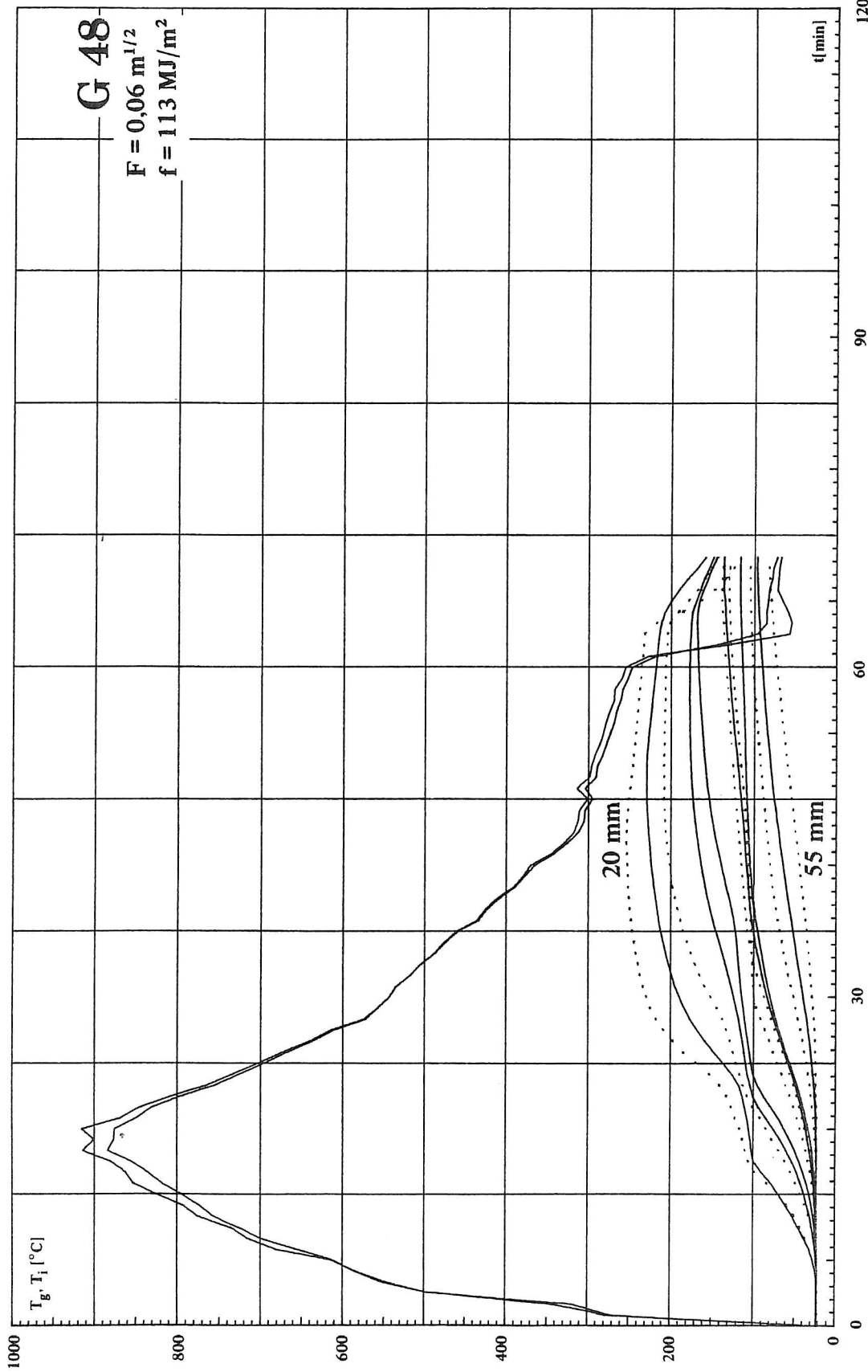












0	30	60	90	120
H000048	H000048	H000048	H000048	H000048
29-Jul-88	29-Jul-88	29-Jul-88	29-Jul-88	29-Jul-88
CHANNEL NO.: 14	MAX= 21.500	884.100	453.976	250.953
	MIN= 0.000	MEAN= 1000.000	STAND. DEV.= 120	NO. OF ELEMENTS= 71
	Y0= 0.000	X0= 0	X100= 120	XSTART=7-1
CHANNEL NO.: 1	MAX= 22.400	229.900	160.099	72.749
	MIN= 0.000	MEAN= 1000.000	STAND. DEV.= 120	NO. OF ELEMENTS= 71
	Y0= 0.000	X0= 0	X100= 120	XSTART=7-1
CHANNEL NO.: 5	MAX= 22.400	169.000	109.632	52.845
	MIN= 0.000	MEAN= 1000.000	STAND. DEV.= 120	NO. OF ELEMENTS= 71
	Y0= 0.000	X0= 0	X100= 120	XSTART=7-1
CHANNEL NO.: 9	MAX= 22.000	117.900	77.228	37.844
	MIN= 0.000	MEAN= 1000.000	STAND. DEV.= 120	NO. OF ELEMENTS= 71
	Y0= 0.000	X0= 0	X100= 120	XSTART=7-1

